

УДК 621.87

ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВОЙ ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРЮКОВОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КРАНА

Ритенман И.Л.¹, Ритенман В.И.², Блейшмидт Л.И.¹

¹ – ООО «Промбезопасность» (Брянск, Россия)

² – АО «МЕТАКЛЭЙ» (Карачев, Россия)

Приведено применение методики анализа видов и последствий отказов (FMEA-анализ) для оценки технического риска наступления аварийных ситуаций при эксплуатации механизма передвижения грузовой тележки мостового крюкового электрического крана. Методика позволяет выявить лимитирующие элементы и определить значимость последствий в конструкции механизма передвижения грузовой тележки, разработать мероприятия для снижения риска наступления аварийной ситуации.

Ключевые слова: промышленная безопасность, оценка рисков, FMEA-анализ, критичность, коэффициент приоритетного риска, диаграмма Парето, диаграмма Исикавы, вероятность наступления отказа, вероятность обнаружения отказа.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-04-426-446

Одной из задач при эксплуатации опасных производственных объектов является соблюдение норм и правил промышленной безопасности. Промышленная безопасность опасного производственного объекта – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий [5]. Требования к опасным производственным объектам устанавливаются Федеральным законом от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Для предотвращения или сведения к минимуму риска возникновения аварийных ситуаций проводится экспертиза промышленной безопасности технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте.

В настоящее время всё чаще встает вопрос оценки технического риска возникновения аварийных ситуаций. Риск – сочетание вероятности причинения вреда и последствий этого вреда для жизни или здоровья человека, имущества, окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений [5].

Одним из эффективных методов оценки технического риска является анализ видов и последствий отказов (FMEA-анализ) [1, 22, 24]. FMEA-анализ – метод, позволяющий идентифицировать виды потенциальных отказов, оценить вероятность возникновения отказов и обеспечить меры по снижению риска.

В работе проводится исследование механизма передвижения грузовой тележки электрического крюкового мостового крана, конструкция которого представлена на рис. 1. Анализ вероятности возникновения отказов и обеспечения мер по снижению риска осуществляется, исходя из собранной об объекте информации: о технических характеристиках, диагностике возможных причин отказов специальными процедурами контроля, условий эксплуатации.

В качестве примера рассмотрим механизм передвижения грузовой тележки со следующими исходными параметрами:

- группа классификации механизма передвижения грузовой тележки крана – М6 [21];
- класс использования при коэффициенте распределения нагрузки 1,0 – Т₄ [7];
- техническое устройство отработало нормативный срок службы в годах, эксплуатируется в помещении в условиях, которые соответствуют паспортным характеристикам;
- функционирование системы производственного контроля на подъёмных сооружениях опасного производственного объекта осуществляется в соответствии с нормативными документами;
- ежесменные и плановые осмотры, техническое обслуживание, текущие и капитальные ремонты проводятся в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации технического устройства и нормативной документации.

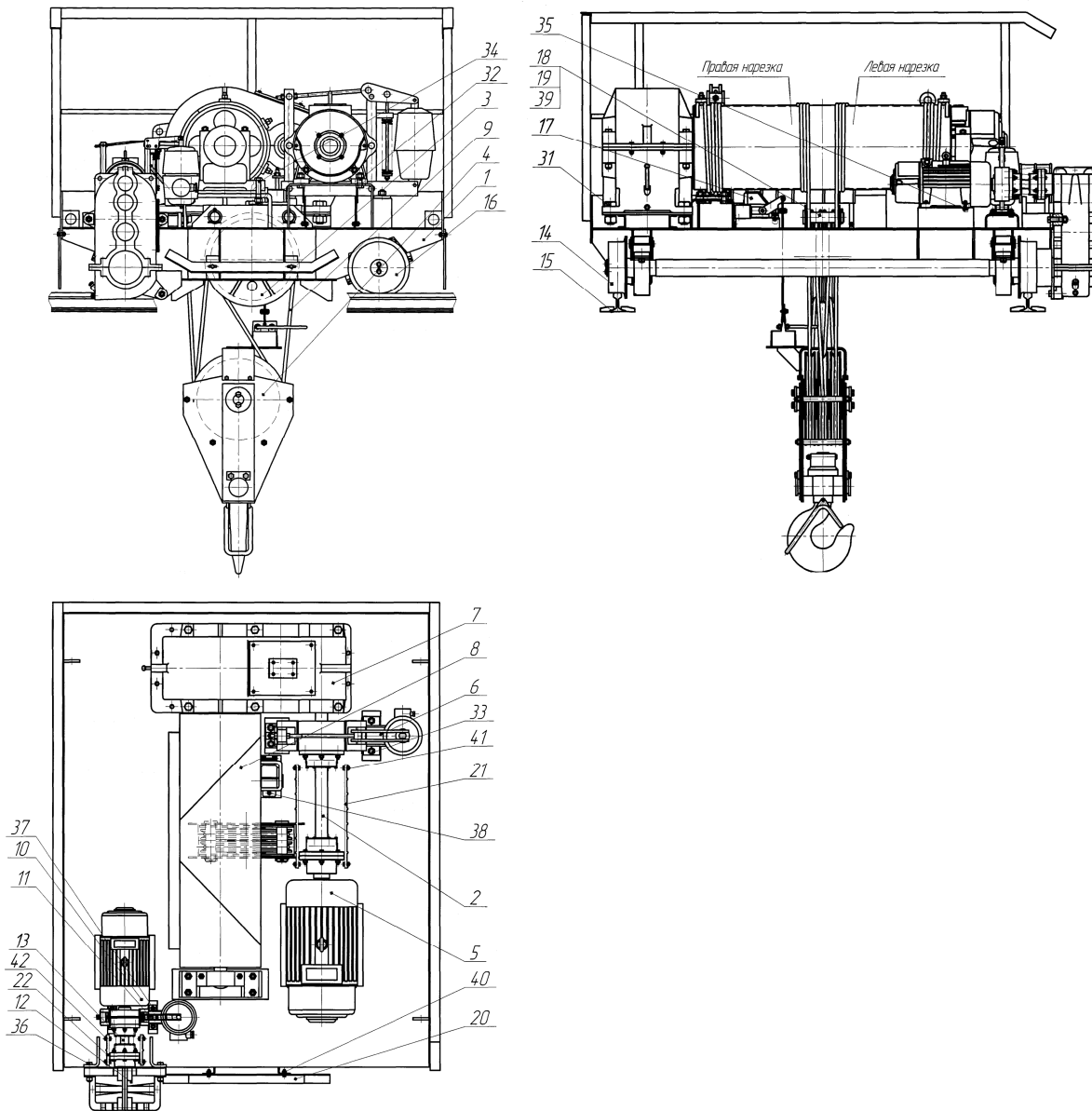


Рис. 1. Общий вид грузовой тележки крюкового электрического мостового крана:
 1 – рама грузовой тележки; 2 – промежуточный вал механизма подъёма; 3 – верхние блоки;
 4 – крюковая подвеска; 5 – электродвигатель механизма подъёма; 6 – тормоз механизма
 подъёма; 7 – редуктор механизма подъёма; 8 – барабан; 9 – канат; 10 – электродвигатель
 механизма передвижения тележки; 11 – тормоз механизма передвижения тележки;
 12 – редуктор механизма передвижения тележки; 13 – промежуточный вал механизма
 передвижения тележки; 14 – колёсная пара ведущая; 15 – рельс; 16 – колёсная пара ведомая;
 17 – концевой выключатель; 18 – ось; 19 – шайба; 20 – линейка концевых выключателей;
 21 – ограждение; 22 – ограждение; 31 – крепёжное соединение (редуктора механизма
 подъёма); 32 – крепёжное соединение (электродвигателя механизма подъёма);
 33 – крепёжное соединение (тормоза механизма подъёма); 34 – крепёжное соединение
 (барабана); 35 – крепёжное соединение (электродвигателя механизма передвижения
 тележки); 36 – крепёжное соединение (редуктора механизма передвижения тележки);
 37 – крепёжное соединение (тормоза механизма передвижения тележки); 38 – крепёжное
 соединение (концевого выключателя); 39 – шплинтовое соединение (фиксация оси);
 40 – крепёжное соединение (линейки концевых выключателей); 41 – крепёжное соединение
 (ограждения приводного вала механизма подъёма); 42 – крепёжное соединение (ограждения
 приводного вала механизма передвижения тележки).

Для проведения исследования объект представляется в виде функциональной блок-схемы. Функциональная блок-схема содержит [22]:

а) декомпозицию объекта на основные блоки и при необходимости декомпозицию блоков на отдельные элементы, включая их функциональные взаимосвязи;

б) идентификационные номера;

в) все технические особенности, обеспечивающие защиту объекта от отказов.

Функциональная блок-схема механизма передвижения грузовой тележки электрического мостового крана состоит из блоков: A_1 – электродвигатель; A_2 – крепёжное соединение (крепление электродвигателя); A_3 –

промежуточный вал; A_4 – тормоз; A_5 – крепёжное соединение (крепление тормоза); A_6 – редуктор; A_7 – крепёжное соединение (крепление редуктора); A_8 – колёсная пара ведущая; A_9 – рельс; A_{10} – колёсная пара ведомая.

Для связи между блоками используются следующие виды соединений:

2 – резьбовое; 3 – механическое.

На функциональной блок-схеме (рис. 2) показаны блоки механизма передвижения грузовой тележки электрического мостового крана (рис. 1). Каждый блок имеет наименование, индекс и количество, обозначение согласно рис. 1.

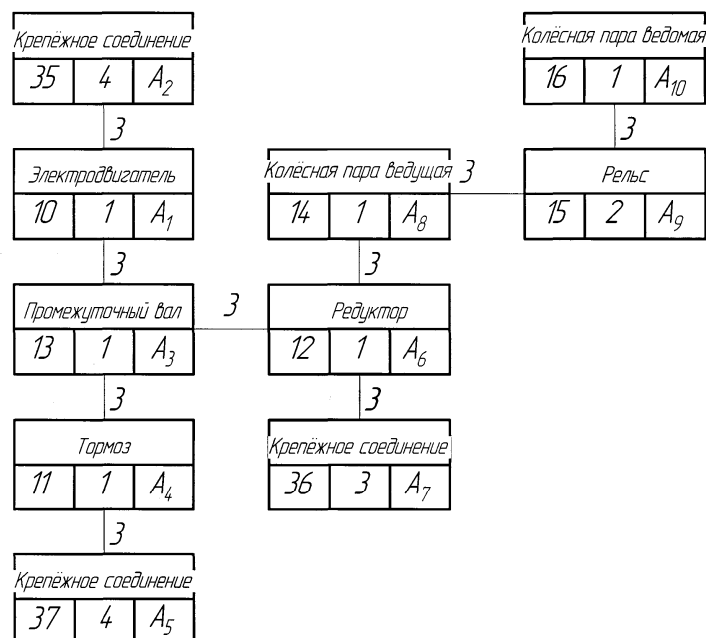


Рис. 2. Функциональная схема механизма передвижения грузовой тележки крюкового электрического мостового крана

Блоки A_3 , A_8 и A_{10} целесообразно разложить на отдельные элементы. Элемент – низшая ячейка функциональной схемы, состоящая из сборочной единицы (крепёжного соединения) или детали.

Эскиз промежуточного вала (блок A_3) представлен на рис. 3.

Функциональная схема блока A_3 состоит из следующих элементов: $B_{3.1}$ – шпонка; $B_{3.2}$ – шкив; $B_{3.3}$ – крепёжное соединение, соединяющее шкив с зубчатой полумуфтой; $B_{3.4}$ – зубчатая полумуфта; $B_{3.5}$ – шпонка; $B_{3.6}$ – вал; $B_{3.7}$ – крепёжное соединение, соединяющее зубчатую полумуфту с полумуфтой; $B_{3.8}$ – полумуфта.

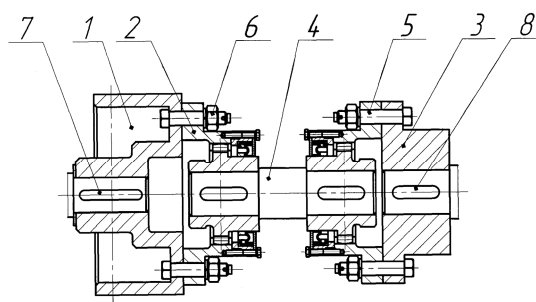


Рис. 3. Эскиз промежуточного вала: 1 – шкив; 2 – зубчатая полумуфта; 3 – полумуфта; 4 – вал; 5 – крепёжное соединение; 6 – крепёжное соединение; 7 – шпонка; 8 – шпонка

Для связи между элементами используются следующие виды соединений:

1 – прессовое; 2 – резьбовое; 3 – механическое.

На функциональной схеме (рис. 5) показаны элементы промежуточного вала (рис. 4). Каждый элемент имеет наименование, индекс и количество, обозначение согласно рис. 4.

Эскиз ведущей колёсной пары (блок А₈) представлен на рис. 5.

Функциональная схема блока А₈ (рис. 6) состоит из следующих элементов: Б_{8.1} – шпонка; Б_{8.2} – зубчатая полумуфта; Б_{8.3} – втулка зубчатая; Б_{8.4} – втулка; Б_{8.5} – колесо ведущее; Б_{8.6} – шпонка; Б_{8.7} – вал; Б_{8.8} – шайба торцовая; Б_{8.9} – крепёжное соединение с проволокой для крепления колеса на валу; Б_{8.10} – втулка распорная; Б_{8.11} – подшипник; Б_{8.12} – крышка; Б_{8.13} – крышка; Б_{8.14} – букса; Б_{8.15} – ось; Б_{8.16} – шайба; Б_{8.17} – штифт; Б_{8.18} – маслѐнка.

Для связи между элементами используются следующие виды соединений:

1 – прессовое; 2 – резьбовое; 3 – механическое; 7 – сварное.

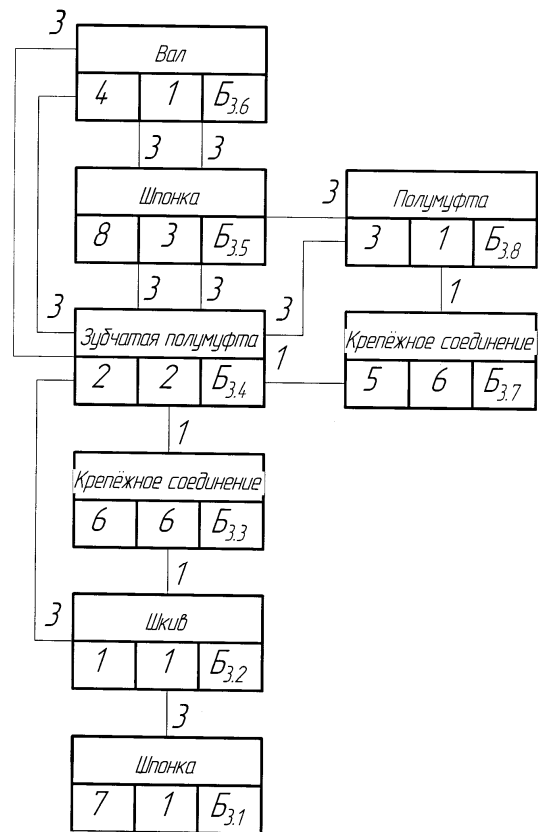


Рис. 4. Функциональная схема промежуточного вала – блок А₃

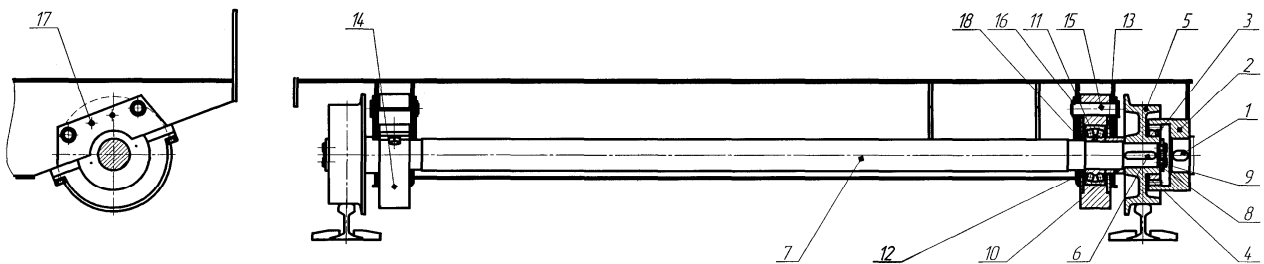


Рис. 5. Эскиз ведущей колёсной пары:

- 1 – шпонка; 2 – зубчатая полумуфта; 3 – втулка зубчатая; 4 – втулка; 5 – колесо ведущее; 6 – шпонка; 7 – вал; 8 – шайба торцовая; 9 – крепёжное соединение с проволокой; 10 – втулка распорная; 11 – подшипник; 12 – крышка; 13 – крышка; 14 – букса; 15 – ось; 16 – шайба; 17 – штифт; 18 – маслѐнка

Эскиз ведомой колёсной пары (блок А₁₀) представлен на рис. 7.

Функциональная схема блока А₁₀ (рис. 8) состоит из следующих элементов: Б_{10.1} – колесо ведомое; Б_{10.2} – шпонка; Б_{10.3} – вал; Б_{10.4} – шайба торцовая; Б_{10.5} – крепёжное соединение с проволокой для крепления колеса на

валу; Б_{10.6} – втулка распорная; Б_{10.7} – подшипник; Б_{10.8} – крышка; Б_{10.9} – крышка; Б_{10.10} – букса; Б_{10.11} – ось; Б_{10.12} – шайба; Б_{10.13} – штифт; Б_{10.14} – маслѐнка.

Используемые виды соединений: 2 – резьбовое; 3 – механическое; 7 – сварное.

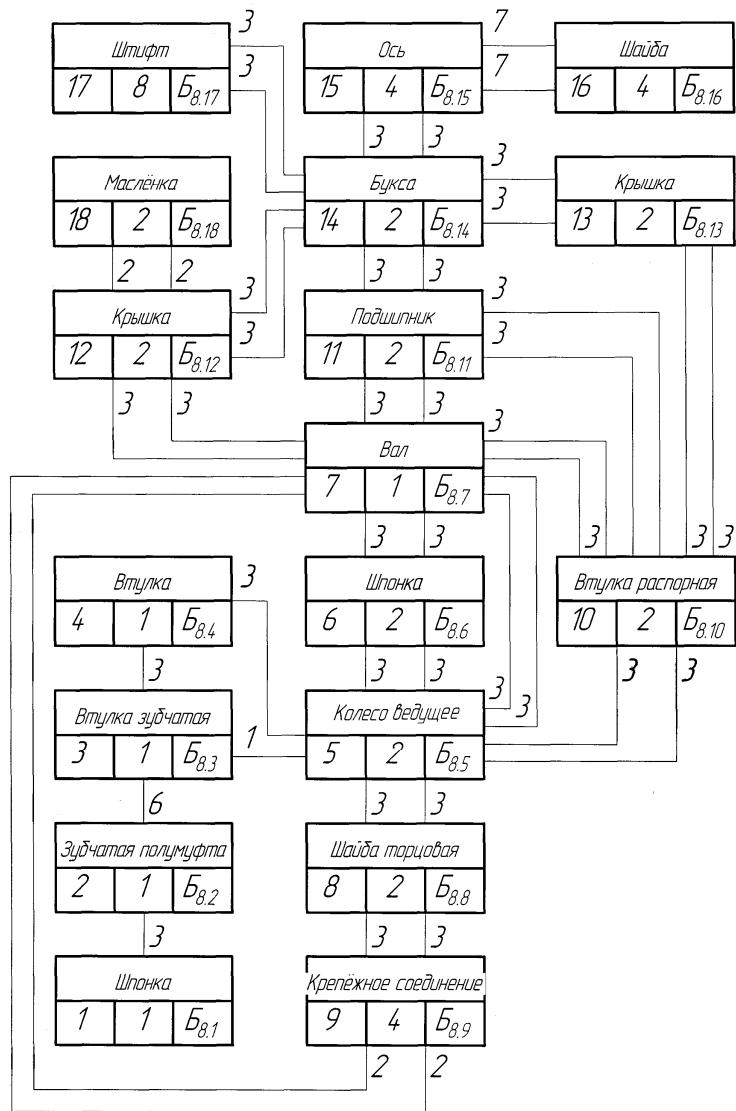


Рис. 6. Функциональная схема ведущей колёсной пары – блок А₈

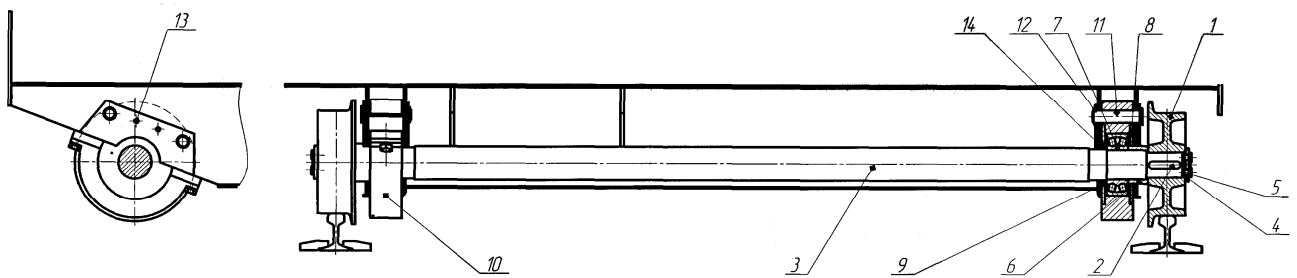


Рис. 7. Эскиз ведомой колёсной пары:

1 – колесо ведомое; 2 – шпонка; 3 – вал; 4 – шайба торцовая; 5 – крепёжное соединение с проволокой; 6 – втулка распорная; 7 – подшипник; 8 – крышка; 9 – крышка; 10 – букса; 11 – ось; 12 – шайба; 13 – штифт; 14 – маслёнка.

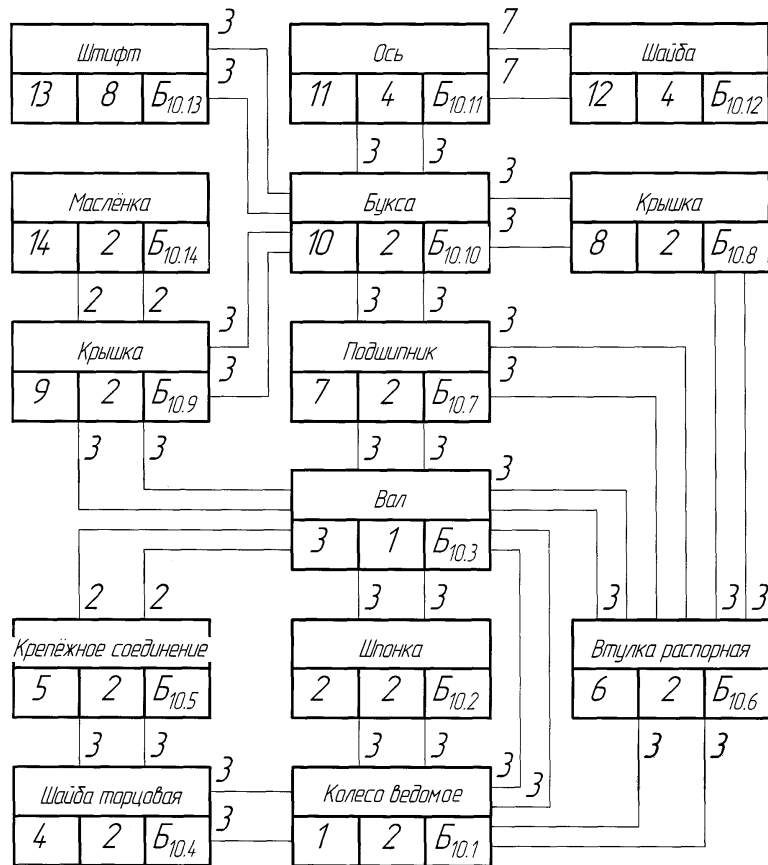


Рис. 8. Функциональная схема ведомой колёсной пары – блок А₁₀

Успешное функционирование объекта зависит от функционирования критических блоков и элементов объекта. Для оценки функционирования объекта необходимо идентифицировать возможные причины отказов. Возможные причины отказов блоков и элементов механизма подъема крюкового электрического мостового крана на основе анализа функциональных и физических параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Индекс | Блок, элемент | Возможные причины отказов | Индекс отказа |
|------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|
| А ₁ | Электродвигатель | - замыкание обмотки | С ₁ |
| | | - износ щеток | С ₂ |
| | | - износ шеек вала | С ₃ |
| А ₂ | Крепёжное соединение | - отсутствие элемента | С ₄ |
| | | - дефект резьбы | С ₅ |
| Б _{3.1} | Шпонка | - срез, смятие | С ₆ |
| Б _{3.2} | Шкив | - износ поверхности | С ₇ |
| | | - износ шпоночного паза | С ₈ |
| | | - трещины, обломы | С ₉ |
| Б _{3.3} | Крепёжное соединение | - отсутствие элемента | С ₁₀ |
| | | - дефект резьбы | С ₁₁ |
| Б _{3.4} | Зубчатая полумуфта | - износ шпоночного паза | С ₁₂ |
| | | - износ зубьев | С ₁₃ |
| | | - отсутствие смазки | С ₁₄ |
| | | - отсутствие деталей | С ₁₅ |
| Б _{3.5} | Шпонка | - срез, смятие | С ₁₆ |

Продолжение табл. 1

| | | | |
|-------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------|
| Б _{3.6} | Вал | - осевой ход | C ₁₇ |
| | | - износ шеек, скручивание | C ₁₈ |
| Б _{3.7} | Крепёжное соединение | - отсутствие элемента | C ₁₉ |
| | | - дефект резьбы | C ₂₀ |
| Б _{3.8} | Полумуфта | - износ шпоночного паза | C ₂₁ |
| А ₄ | Тормоз | - не отрегулирован | C ₂₂ |
| | | - состояние пружины | C ₂₃ |
| | | - отсутствуют детали | C ₂₄ |
| | | - состояние толкателя | C ₂₅ |
| | | - износ колодок, трещины | C ₂₆ |
| А ₅ | Крепёжное соединение | - отсутствие элемента | C ₂₇ |
| | | - потеря резьбы | C ₂₈ |
| А ₆ | Редуктор | - отсутствие смазки | C ₂₉ |
| | | - износ зубьев | C ₃₀ |
| | | - износ шеек валов | C ₃₁ |
| | | - износ подшипников | C ₃₂ |
| А ₇ | Крепёжное соединение | - отсутствие элемента | C ₃₃ |
| | | - дефект резьбы | C ₃₄ |
| Б _{8.1} | Шпонка | - срез, смятие | C ₃₅ |
| Б _{8.2} | Зубчатая полумуфта | - износ зубьев | C ₃₆ |
| | | - отсутствие смазки | C ₃₇ |
| | | - износ шпоночного паза | C ₃₈ |
| Б _{8.3} | Втулка зубчатая | - износ зубьев | C ₃₉ |
| | | - отсутствие смазки | C ₄₀ |
| Б _{8.4} | Втулка | - отсутствие | C ₄₁ |
| Б _{8.5} | Колесо ведущее | - трещины | C ₄₂ |
| | | - износ по диаметру | C ₄₃ |
| | | - износ реборды | C ₄₄ |
| | | - разность диаметров колес | C ₄₅ |
| | | - износ шпоночного паза | C ₄₆ |
| Б _{8.6} | Шпонка | - срез, смятие | C ₄₇ |
| Б _{8.7} | Вал | - износ шеек | C ₄₈ |
| | | - дефект резьбы | C ₄₉ |
| Б _{8.8} | Шайба торцовая | - отсутствие | C ₅₀ |
| Б _{8.9} | Крепёжное соединение | - отсутствие элемента | C ₅₁ |
| | | - дефект резьбы | C ₅₂ |
| Б _{8.10} | Втулка распорная | - износ | C ₅₃ |
| Б _{8.11} | Подшипник | - отсутствие смазки | C ₅₄ |
| | | - наличие дефектов | C ₅₅ |
| Б _{8.12} | Крышка | - износ отверстия | C ₅₆ |
| | | - дефект резьбы | C ₅₇ |
| Б _{8.13} | Крышка | - износ отверстия | C ₅₈ |
| Б _{8.14} | Букса | - износ поверхности | C ₅₉ |
| | | - отсутствие крепежных элементов | C ₆₀ |
| Б _{8.15} | Ось | - износ поверхности | C ₆₁ |
| Б _{8.16} | Шайба | - отсутствие | C ₆₂ |
| Б _{8.17} | Штифт | - износ | C ₆₃ |
| Б _{8.18} | Масленка | - наличие дефектов | C ₆₄ |

| | | | |
|--------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------|
| А ₉ | Рельс | - износ головки | С ₆₅ |
| | | - поверхностные дефекты | С ₆₆ |
| | | - трещины в стенке | С ₆₇ |
| | | - коррозия стенки и подошвы | С ₆₈ |
| Б _{10.1} | Колесо ведомое | - трещины | С ₆₉ |
| | | - износ по диаметру | С ₇₀ |
| | | - износ реборды | С ₇₁ |
| | | - разность диаметров колес | С ₇₂ |
| | | - износ шпоночного паза | С ₇₃ |
| Б _{10.2} | Шпонка | - срез, смятие | С ₇₄ |
| Б _{10.3} | Вал | - износ шеек | С ₇₅ |
| | | - дефект резьбы | С ₇₆ |
| Б _{10.4} | Шайба торцовая | - отсутствие | С ₇₇ |
| Б _{10.5} | Крепёжное соединение | - отсутствие элемента | С ₇₈ |
| | | - дефект резьбы | С ₇₉ |
| Б _{10.6} | Втулка распорная | - износ | С ₈₀ |
| Б _{10.7} | Подшипник | - отсутствие смазки | С ₈₁ |
| | | - наличие дефектов | С ₈₂ |
| Б _{10.8} | Крышка | - износ отверстия | С ₈₃ |
| Б _{10.9} | Крышка | - износ отверстия | С ₈₄ |
| | | - дефект резьбы | С ₈₅ |
| Б _{10.10} | Букса | - износ поверхности | С ₈₆ |
| | | - отсутствие крепежных элементов | С ₈₇ |
| Б _{10.11} | Ось | - износ поверхности | С ₈₈ |
| Б _{10.12} | Шайба | - отсутствие | С ₈₉ |
| Б _{10.13} | Штифт | - износ | С ₉₀ |
| Б _{10.14} | Масленка | - наличие дефектов | С ₉₁ |

Критичность возможных причин отказов определялась экспертным методом. Для этого была опрошена группа экспертов в составе из 10 человек, специалистов в области стандартизации и метрологии, проектирования и эксплуатации грузоподъемных кранов, имеющих многолетний опыт научной или практической работы, базовое или профильное образование.

Информация от экспертов была получена через опросный лист, который включал функциональные блок – схемы, а также три вопроса.

Вопрос 1 (ранг S): Вероятность диагностики возможных причин отказов в зависимости от специальных процедур контроля на ПС ОПО?

Вопрос 2 (ранг O): Вероятность появления каждого вида потенциального отказа в зависимости от класса использования блоков и элементов объекта?

Вопрос 3 (ранг D): Способ обнаружения

отказа и средства, которые специалист применяет для обнаружения возможных причин отказов?

Бланк для ответов содержал информацию обо всех возможных причинах отказов блоков и элементов объекта и таблицы с критериями оценки по рангам S, O, D.

Критерии оценки диагностики возможных причин отказов специальными процедурами контроля на ПС ОПО по рангу S приведены в табл. 2.

Критерии оценки вероятности появления каждого вида потенциального отказа от класса использования элементов объекта по рангу O приведены в табл. 3 и 4.

Под вероятностью появления каждого вида потенциального отказа понимается возможность его наступления, влияющее на функциональное предназначение ТУ в зависимости от класса использования механизма (табл. 3) [7] и коэффициента использования элементов конструкции (табл. 4) [23].

Таблица 2

| Значимость последствия | Уровень регламентных работ | Ранг (S) |
|----------------------------|--|----------|
| Опасная без предупреждения | Разрушение элемента конструкции, находящегося в исправном или работоспособном состоянии без предупреждения | 10 |
| Опасная с предупреждением | Дефект, диагностирование которого возможно при капитально-восстановительном ремонте персоналом, занимающемся восстановлением работоспособности | 9 |
| Очень важная | Дефект, диагностирование которого возможно при привлечении специалистов специализированных организаций | 8 |
| Важная | Дефект, диагностирование которого возможно при плановом капитальном ремонте персоналом, занимающемся обслуживанием и ремонтом | 7 |
| Умеренная | Дефект, диагностирование которого возможно при плановом текущем ремонте персоналом, занимающемся обслуживанием и ремонтом | 6 |
| Слабая | Дефект, диагностирование которого возможно при плановом техническом обслуживании персоналом, занимающемся обслуживанием и ремонтом | 5 |
| Очень слабая | Дефект, диагностирование которого возможно при плановом осмотре персоналом, занимающемся обслуживанием и ремонтом | 4 |
| Незначительная | Дефект, диагностирование которого возможно при ежедневном осмотре персоналом, занимающемся эксплуатацией | 3 |
| Очень незначительная | ТУ находится в работоспособном состоянии | 2 |
| Отсутствует | ТУ находится в исправном состоянии | 1 |

Таблица 3

| Вероятность отказа | Значение вероятности отказа Р | Класс использования | Продолжительность использования, час | Ранг (О) |
|--------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------------|----------|
| Очень большая | $P > 0,5$ | T_0 | 200 | 10 |
| | $0,33 < P < 0,5$ | T_1 | 400 | 9 |
| Большая | $0,125 < P < 0,33$ | T_2 | 800 | 8 |
| | $0,05 < P < 0,125$ | T_3 | 1600 | 7 |
| Небольшая | $0,0125 < P < 0,05$ | T_4 | 3200 | 6 |
| | $0,0025 < P < 0,0125$ | T_5 | 6300 | 5 |
| | $0,0005 < P < 0,0025$ | T_6 | 12500 | 4 |
| Малая | $0,00007 < P < 0,0005$ | T_7 | 25000 | 3 |
| | $0,000007 < P < 0,00007$ | T_8 | 50000 | 2 |
| Очень малая | $P < 0,000007$ | T_9 | 100000 | 1 |

Таблица 4

| Детали | Срок службы, год | Коэффициент использования, K_i |
|--------------------|------------------|----------------------------------|
| Тормозные колодки | 0,1 | 0,01 |
| Канаты | 0,3 | 0,03 |
| Зубчатые колёса | 1,5 | 0,15 |
| Подшипники качения | 3 | 0,3 |
| Валы редукторов | 10 | 1 |
| Металлоконструкции | 20 | 2 |

Ранг класса использования элемента конструкции определяется по формуле:

$$O_i = K_i T_i$$

где: O_i - продолжительность использования элемента конструкции в часах; K_i - коэффициент использования элемента конструкции; T_i - класс использования объекта в часах.

Критерии оценки по способу обнаружения отказа и средств, которые специалист применяет для обнаружения возможных причин отказов по рангу D, приведены в табл. 5. Возможностью обнаружения отказа – производительность, оперативность, безопасность, достоверность методов контроля, точность средств измерения, применяемых при оценке причин отказов [4].

Статистическая обработка ответов экспертов на вопросы опросного листа по рангам S, O, D выполняется с помощью следующего соотношения

$$\bar{y}_{i.SOD}^{\{k\}} = 0,1 \cdot \sum_{m=1}^{m=10} y_{i.SOD}^{\{k\}}$$

где: $\bar{y}_{i.SOD}^{\{k\}}$ - усреднённая оценка по рангам S, O, D, поставленная при ответе на k -й вопрос опросного листа экспертами; $y_{i.SOD}^{\{k\}}$ - количественная оценка по рангам S, O, D, поставленная m -м экспертом балла при ответе на k -й вопрос опросного листа.

Статистическая обработка ответов экспертов на вопросы опросного листа по рангам S, O, D приведена в таблице 6.

Количественная оценка критичности возможных причин отказов блоков и элементов объекта, коэффициент приоритетного риска (КПР), определяется произведением рангов S, O, D и нормируется от 1 до 1000. Результаты количественной оценки критичности (КПР) блоков и элементов объекта приведены в табл. 6.

Таблица 5

| Полнота контроля, производительность, оперативность, безопасность и достоверность методов неразрушающего контроля, точность средств измерения | Ранг (D) |
|---|----------|
| Разрушающие методы контроля | 10 |
| Магнитный и акустический методы контроля, полнота контроля 100% | 9 |
| Магнитный и акустический методы контроля, полнота контроля выборочная | 8 |
| Оптический и капиллярный методы контроля | 7 |
| Радиационный метод контроля | 6 |
| Радиоволновой и тепловой методы контроля | 5 |
| Визуальный и измерительный контроль, точность средств измерения до 1 мкм, полнота контроля 100 % | 4 |
| Визуальный 100% и выборочный измерительный контроль, точность средств измерения до 1 мкм | 3 |
| Визуальный 100% и выборочный измерительный контроль, точность средств измерения 1 мм | 2 |
| Визуальный контроль, полнота контроля 100% | 1 |
| Контроль не проводится из-за надёжности конструкции | 0 |

Таблица 6

| Индекс | Блок, элемент | Возможные причины отказов | Индекс отказа | Ранги | | | КПР | |
|------------------|----------------------|---------------------------|----------------|-------|-----|-----|------|-------|
| | | | | (S) | (O) | (D) | Кол. | Сумма |
| A ₁ | Электродвигатель | - замыкание обмотки | C ₁ | 6 | 6 | 1 | 36 | 214 |
| | | - износ щеток | C ₂ | 5 | 7 | 2 | 70 | |
| | | - износ шеек вала | C ₃ | 6 | 6 | 3 | 108 | |
| A ₂ | Крепёжное соединение | - отсутствие элемента | C ₄ | 3 | 5 | 1 | 15 | 45 |
| | | - дефект резьбы | C ₅ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| B _{3.1} | Шпонка | - срез, смятие | C ₆ | 6 | 5 | 1 | 30 | 30 |

Продолжение табл. 6

| | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|---|----|---|-----|-----|
| Б _{3.2} | Шкив | - износ поверхности | C ₇ | 6 | 8 | 3 | 144 | 228 |
| | | - износ шпоночного паза | C ₈ | 6 | 6 | 1 | 36 | |
| | | - трещины, обломы | C ₉ | 6 | 8 | 1 | 48 | |
| Б _{3.3} | Крепёжное со-единение | - отсутствие элемента | C ₁₀ | 3 | 5 | 1 | 15 | 45 |
| | | - дефект резьбы | C ₁₁ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{3.4} | Зубчатая полу-муфта | - износ шпоночного паза | C ₁₂ | 6 | 6 | 1 | 36 | 235 |
| | | - износ зубьев | C ₁₃ | 6 | 8 | 3 | 144 | |
| | | - отсутствие смазки | C ₁₄ | 5 | 8 | 1 | 40 | |
| | | - отсутствие деталей | C ₁₅ | 3 | 5 | 1 | 15 | |
| Б _{3.5} | Шпонка | - срез, смятие | C ₁₆ | 6 | 5 | 1 | 30 | 30 |
| Б _{3.6} | Вал | -осевой ход | C ₁₇ | 5 | 6 | 2 | 60 | 168 |
| | | - износ шеек, скручи-вание | C ₁₈ | 6 | 6 | 3 | 108 | |
| Б _{3.7} | Крепёжное со-единение | - отсутствие элемента | C ₁₉ | 3 | 5 | 1 | 15 | 45 |
| | | - дефект резьбы | C ₂₀ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{3.8} | Полумуфта | - износ шпоночного паза | C ₂₁ | 6 | 5 | 1 | 30 | 30 |
| А ₄ | Тормоз | - не отрегулирован | C ₂₂ | 3 | 6 | 1 | 18 | 293 |
| | | - состояние пружины | C ₂₃ | 5 | 6 | 1 | 30 | |
| | | - отсутствуют детали | C ₂₄ | 3 | 5 | 1 | 15 | |
| | | - состояние толкателя | C ₂₅ | 5 | 6 | 1 | 30 | |
| | | - износ колодок, тре-щины | C ₂₆ | 5 | 10 | 4 | 200 | |
| А ₅ | Крепёжное со-единение | - отсутствие элемента | C ₂₇ | 3 | 5 | 1 | 15 | 45 |
| | | - потеря резьбы | C ₂₈ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| А ₆ | Редуктор | - отсутствие смазки | C ₂₉ | 5 | 8 | 1 | 40 | 418 |
| | | - износ зубьев | C ₃₀ | 6 | 8 | 4 | 192 | |
| | | - износ шеек валов | C ₃₁ | 6 | 6 | 4 | 144 | |
| | | - износ подшипников | C ₃₂ | 6 | 7 | 1 | 42 | |
| А ₇ | Крепёжное со-единение | - отсутствие элемента | C ₃₃ | 3 | 5 | 1 | 15 | 45 |
| | | - дефект резьбы | C ₃₄ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{8.1} | Шпонка | - срез, смятие | C ₃₅ | 6 | 5 | 1 | 30 | 30 |
| Б _{8.2} | Зубчатая полу-муфта | - износ зубьев | C ₃₆ | 6 | 8 | 3 | 144 | 220 |
| | | - отсутствие смазки | C ₃₇ | 5 | 8 | 1 | 40 | |
| | | - износ шпоночного паза | C ₃₈ | 6 | 6 | 1 | 36 | |
| Б _{8.3} | Втулка зубчатая | - износ зубьев | C ₃₉ | 6 | 8 | 3 | 144 | 192 |
| | | - отсутствие смазки | C ₄₀ | 6 | 8 | 1 | 48 | |
| Б _{8.4} | Втулка | - отсутствие | C ₄₁ | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{8.5} | Колесо ведущее | - трещины | C ₄₂ | 8 | 5 | 7 | 280 | 886 |
| | | - износ по диаметру | C ₄₃ | 6 | 8 | 4 | 192 | |
| | | - износ реборды | C ₄₄ | 6 | 8 | 4 | 192 | |
| | | - разность диаметров колес | C ₄₅ | 6 | 8 | 4 | 192 | |
| | | - износ шпоночного паза | C ₄₆ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{8.6} | Шпонка | - срез, смятие | C ₄₇ | 6 | 5 | 1 | 30 | 30 |

Окончание табл. 6

| | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------|---|---|---|-----|-----|
| Б _{8.7} | Вал | - износ шеек | C ₄₈ | 6 | 6 | 3 | 108 | 138 |
| | | - дефект резьбы | C ₄₉ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{8.8} | Шайба торцовая | - отсутствие | C ₅₀ | 3 | 5 | 1 | 15 | 15 |
| Б _{8.9} | Крепёжное со-единение | - отсутствие элемента | C ₅₁ | 3 | 5 | 1 | 15 | 45 |
| | | - дефект резьбы | C ₅₂ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{8.10} | Втулка распорная | - износ | C ₅₃ | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{8.11} | Подшипник | - отсутствие смазки | C ₅₄ | 5 | 7 | 1 | 35 | 77 |
| | | - наличие дефектов | C ₅₅ | 6 | 7 | 1 | 42 | |
| Б _{8.12} | Крышка | - износ отверстия | C ₅₆ | 6 | 5 | 0 | 0 | 30 |
| | | - дефект резьбы | C ₅₇ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{8.13} | Крышка | - износ отверстия | C ₅₈ | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{8.14} | Букса | - износ поверхности | C ₅₉ | 7 | 5 | 0 | 0 | 20 |
| | | - отсутствие крепеж-ных элементов | C ₆₀ | 4 | 5 | 1 | 20 | |
| Б _{8.15} | Ось | - износ поверхности | C ₆₁ | 9 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{8.16} | Шайба | - отсутствие | C ₆₂ | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{8.17} | Штифт | - износ | C ₆₃ | 9 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{8.18} | Масленка | - наличие дефектов | C ₆₄ | 5 | 5 | 1 | 25 | 25 |
| А ₉ | Рельс | - износ головки | C ₆₅ | 6 | 8 | 2 | 96 | 726 |
| | | - поверхностные де-фекты | C ₆₆ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| | | - трещины в стенке | C ₆₇ | 8 | 5 | 7 | 280 | |
| | | - коррозия стенки и подошвы | C ₆₈ | 8 | 5 | 8 | 320 | |
| Б _{10.1} | Колесо ведомое | - трещины | C ₆₉ | 8 | 5 | 7 | 280 | 886 |
| | | - износ по диаметру | C ₇₀ | 6 | 8 | 4 | 192 | |
| | | - износ реборды | C ₇₁ | 6 | 8 | 4 | 192 | |
| | | - разность диаметров колес | C ₇₂ | 6 | 8 | 4 | 192 | |
| | | - износ шпоночного паза | C ₇₃ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{10.2} | Шпонка | - срез, смятие | C ₇₄ | 6 | 5 | 1 | 30 | 30 |
| Б _{10.3} | Вал | - износ шеек | C ₇₅ | 6 | 6 | 3 | 108 | 138 |
| | | - дефект резьбы | C ₇₆ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{10.4} | Шайба торцовая | - отсутствие | C ₇₇ | 3 | 5 | 1 | 15 | 15 |
| Б _{10.5} | Крепёжное со-единение | - отсутствие элемента | C ₇₈ | 3 | 5 | 1 | 15 | 45 |
| | | - дефект резьбы | C ₇₉ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{10.6} | Втулка распорная | - износ | C ₈₀ | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{10.7} | Подшипник | - отсутствие смазки | C ₈₁ | 5 | 7 | 1 | 35 | 77 |
| | | - наличие дефектов | C ₈₂ | 6 | 7 | 1 | 42 | |
| Б _{10.8} | Крышка | - износ отверстия | C ₈₃ | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{10.9} | Крышка | - износ отверстия | C ₈₄ | 6 | 5 | 0 | 0 | 30 |
| | | - дефект резьбы | C ₈₅ | 6 | 5 | 1 | 30 | |
| Б _{10.10} | Букса | - износ поверхности | C ₈₆ | 7 | 5 | 0 | 0 | 20 |
| | | - отсутствие крепеж-ных элементов | C ₈₇ | 4 | 5 | 1 | 20 | |
| Б _{10.11} | Ось | - износ поверхности | C ₈₈ | 9 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{10.12} | Шайба | - отсутствие | C ₈₉ | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{10.13} | Штифт | - износ | C ₉₀ | 9 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Б _{10.14} | Масленка | - наличие дефектов | C ₉₁ | 5 | 5 | 1 | 25 | 25 |

Для определения количества лимитирующих блоков и элементов, входящих в область риска, строится диаграмма Парето [1]. Для этого ранжируются значения коэффициента приоритетного риска в порядке убывания (табл. 7) начиная с коэффициента приоритетного риска «колесо ведущее» и заканчивая «шайба торцовая» и подсчитывается общее значение коэффициента приоритетного риска для каждого блока или элемента. В

графе «накопленный итог, сумма» к предыдущему значению коэффициента приоритетного риска прибавляем последующее. В следующей графе вычисляем процент каждого значения коэффициента приоритетного риска от их общего значения и подсчитаем общее количество процентов. Последнюю графу заполняем по аналогии с графой «накопленный итог, сумма».

Таблица 7

| Индекс | Блок, элемент | Возможные отказы | КПР | | Доля % | Накопленный итог | |
|-------------------|----------------|-----------------------------|------|-------|--------|------------------|-------|
| | | | Кол. | Сумма | | Сумма | % |
| Б _{8.5} | Колесо ведущее | - трещины | 280 | 886 | 15,9 | 886 | 15,9 |
| | | - износ по диаметру | 192 | | | | |
| | | - износ реборды | 192 | | | | |
| | | - разность диаметров колес | 192 | | | | |
| | | - износ шпоночного паза | 30 | | | | |
| Б _{10.1} | Колесо ведомое | - трещины | 280 | 886 | 15,9 | 1772 | 31,8 |
| | | - износ по диаметру | 192 | | | | |
| | | - износ реборды | 192 | | | | |
| | | - разность диаметров колес | 192 | | | | |
| | | - износ шпоночного паза | 30 | | | | |
| А ₉ | Рельс | - износ головки | 96 | 726 | 13 | 2498 | 44,8 |
| | | - поверхностные дефекты | 30 | | | | |
| | | - трещины в стенке | 280 | | | | |
| | | - коррозия стенки и подошвы | 320 | | | | |
| А ₆ | Редуктор | - отсутствие смазки | 40 | 418 | 7,5 | 2916 | 52,3 |
| | | - износ зубьев | 192 | | | | |
| | | - износ шеек валов | 144 | | | | |
| | | - износ подшипников | 42 | | | | |
| А ₄ | Тормоз | - не отрегулирован | 18 | 293 | 5,26 | 3209 | 57,56 |
| | | - состояние пружины | 30 | | | | |
| | | - отсутствуют детали | 15 | | | | |
| | | - состояние толкателя | 30 | | | | |
| | | - износ колодок, трещины | 200 | | | | |

Продолжение табл. 7

| | | | | | | | |
|-------------------|---------------------------|------------------------------|-----|-----|------|------|-------|
| Б _{3.4} | Зубчатая полу- муфта | - износ шпоночно- го паза | 36 | 235 | 4,22 | 3444 | 61,78 |
| | | - износ зубьев | 144 | | | | |
| | | - отсутствие смаз- ки | 40 | | | | |
| | | - отсутствие дета- лей | 15 | | | | |
| Б _{3.2} | Шкив | - износ поверхно- сти | 144 | 228 | 4,09 | 3672 | 65,87 |
| | | - износ шпоночно- го паза | 36 | | | | |
| | | - трещины, обло- мы | 48 | | | | |
| Б _{8.2} | Зубчатая полу- муфта | - износ зубьев | 144 | 220 | 3,95 | 3892 | 69,82 |
| | | - отсутствие смаз- ки | 40 | | | | |
| | | - износ шпоночно- го паза | 36 | | | | |
| А ₁ | Электродвигатель | - замыкание об- мотки | 36 | 214 | 3,84 | 4106 | 73,66 |
| | | - износ щеток | 70 | | | | |
| | | - износ шеек вала | 108 | | | | |
| Б _{8.3} | Втулка зубчатая | - износ зубьев | 144 | 192 | 3,45 | 4298 | 77,11 |
| | | - отсутствие смаз- ки | 48 | | | | |
| Б _{3.6} | Вал | - осевой ход | 60 | 168 | 3,02 | 4466 | 80,13 |
| | | - износ шеек, скручивание | 108 | | | | |
| Б _{8.7} | Вал | - износ шеек | 108 | 138 | 2,48 | 4604 | 82,61 |
| | | - дефект резьбы | 30 | | | | |
| Б _{10.3} | Вал | - износ шеек | 108 | 138 | 2,48 | 4742 | 85,09 |
| | | - дефект резьбы | 30 | | | | |
| Б _{8.11} | Подшипник | - отсутствие смаз- ки | 35 | 77 | 1,38 | 4819 | 86,47 |
| | | - наличие дефек- тов | 42 | | | | |
| Б _{10.7} | Подшипник | - отсутствие смаз- ки | 35 | 77 | 1,38 | 4896 | 87,85 |
| | | - наличие дефек- тов | 42 | | | | |
| А ₂ | Крепёжное со- единение | - отсутствие эле- мента | 15 | 45 | 0,81 | 4941 | 88,66 |
| | | - дефект резьбы | 30 | | | | |
| Б _{3.3} | Крепёжное со- единение | - отсутствие эле- мента | 15 | 45 | 0,81 | 4986 | 89,47 |
| | | - дефект резьбы | 30 | | | | |
| Б _{3.7} | Крепёжное со- единение | - отсутствие эле- мента | 15 | 45 | 0,81 | 5031 | 90,28 |
| | | - дефект резьбы | 30 | | | | |

Окончание табл. 7

| | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|----|----|------|------|-------|
| А ₅ | Крепёжное со-единение | - отсутствие эле-мента | 15 | 45 | 0,81 | 5076 | 91,09 |
| | | - потеря резьбы | 30 | | | | |
| А ₇ | Крепёжное со-единение | - отсутствие эле-мента | 15 | 45 | 0,81 | 5121 | 91,9 |
| | | - дефект резьбы | 30 | | | | |
| Б _{8.9} | Крепёжное со-единение | - отсутствие эле-мента | 15 | 45 | 0,81 | 5166 | 92,71 |
| | | - дефект резьбы | 30 | | | | |
| Б _{10.5} | Крепёжное со-единение | - отсутствие эле-мента | 15 | 45 | 0,81 | 5211 | 93,52 |
| | | - дефект резьбы | 30 | | | | |
| Б _{3.1} | Шпонка | - срез, смятие | 30 | 30 | 0,54 | 5241 | 94,06 |
| Б _{3.5} | Шпонка | - срез, смятие | 30 | 30 | 0,54 | 5271 | 94,6 |
| Б _{3.8} | Полумуфта | - износ шпоночно-го паза | 30 | 30 | 0,54 | 5301 | 95,14 |
| Б _{8.1} | Шпонка | - срез, смятие | 30 | 30 | 0,54 | 5331 | 95,68 |
| Б _{8.6} | Шпонка | - срез, смятие | 30 | 30 | 0,54 | 5361 | 96,22 |
| Б _{8.12} | Крышка | - износ отверстия | 0 | 30 | 0,54 | 5391 | 96,76 |
| | | - дефект резьбы | 30 | | | | |
| Б _{10.2} | Шпонка | - срез, смятие | 30 | 30 | 0,54 | 5421 | 97,3 |
| Б _{10.9} | Крышка | - износ отверстия | 0 | 30 | 0,54 | 5451 | 97,84 |
| | | - дефект резьбы | 30 | | | | |
| Б _{8.18} | Масленка | - наличие дефек-тов | 25 | 25 | 0,45 | 5476 | 98,29 |
| Б _{10.14} | Масленка | - наличие дефек-тов | 25 | 25 | 0,45 | 5501 | 98,74 |
| Б _{8.14} | Букса | - износ поверхно-сти | 0 | 20 | 0,36 | 5521 | 99,1 |
| | | - отсутствие кре-пежных элементов | 20 | | | | |
| Б _{10.10} | Букса | - износ поверхно-сти | 0 | 20 | 0,36 | 5541 | 99,46 |
| | | - отсутствие кре-пежных элементов | 20 | | | | |
| Б _{8.8} | Шайба торцовая | - отсутствие | 15 | 15 | 0,27 | 5556 | 99,73 |
| Б _{10.4} | Шайба торцовая | - отсутствие | 15 | 15 | 0,27 | 5571 | 100 |

Для построения диаграммы Парето (рис. 9) на оси абсцисс откладываем блоки и элементы конструкции, обозначая их индексами, а на оси ординат – значение коэффициента приоритетного риска.

Далее строим столбчатую диаграмму, где каждому блоку или элементу объекта соответствует свой столбик, вертикальная сторона которого равна значению коэффициента приоритетного риска. Блоки и элементы откладываются в порядке убывания их коэффициента приоритетного риска. Если при

построении диаграммы ряд столбцов имеют одинаковую высоту, то это означает их одинаковый «вклад в образование риска возникновения отказа» механизма передвижения грузовой тележки мостового крюкового электрического крана.

На правой стороне графика по оси ординат откладываем значения кумулятивного процента и вычерчиваем кривую кумулятивной суммы. Данная кривая носит название кривой Парето, она отражает в общем случае накопленное влияние всех причин потенци-

альных отказов блоков и элементов в конструкции механизма передвижения грузовой тележки мостового крюкового электрического крана.

Далее на уровне 80 % проводим горизонтальную линию до пересечения с кумуля-

тивной кривой и из точки пересечения опускаем перпендикуляр на горизонтальную ось. В итоге получаем две области потенциальных отказов, которые расположены слева от перпендикуляра являются значимыми, а справа не значимые.

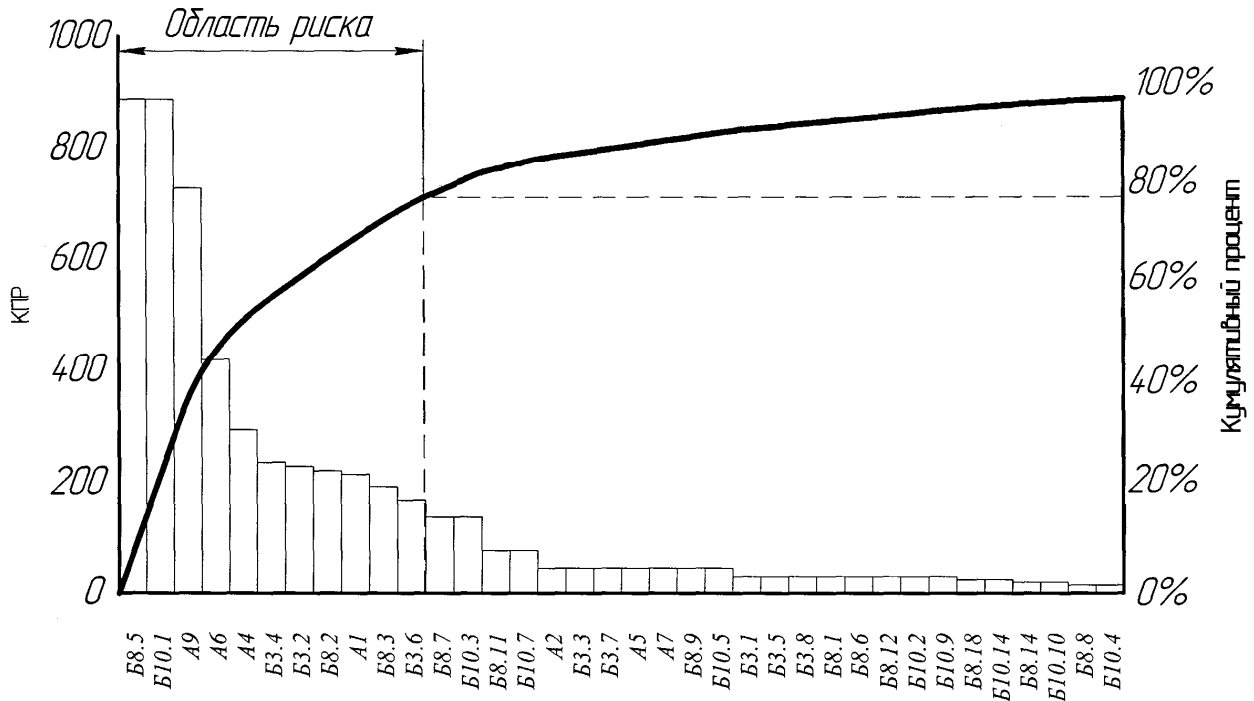


Рис. 9. Диаграмма Парето механизма передвижения грузовой тележки мостового крана

Из построенной диаграммы Парето (рис. 9) видно, что в области риска оказались эле-

менты конструкции, как:

- | | | | |
|-----|-------------------|--------------------|----------|
| 1. | Б _{8.5} | Колесо ведущее | - 15,9 % |
| 2. | Б _{10.1} | Колесо ведомое | - 15,9 % |
| 3. | А ₉ | Рельс | - 13 % |
| 4. | А ₆ | Редуктор | - 7,5 % |
| 5. | А ₄ | Тормоз | - 5,26 % |
| 6. | Б _{3.4} | Зубчатая полумуфта | - 4,22 % |
| 7. | Б _{3.2} | Шкив | - 4,09 % |
| 8. | Б _{8.2} | Зубчатая полумуфта | - 3,95 % |
| 9. | А ₁ | Электродвигатель | - 3,84 % |
| 10. | Б _{8.3} | Втулка зубчатая | - 3,45 % |
| 11. | Б _{3.6} | Вал | - 3,02 % |

Для установления причинно-следственных связей между объектом и влияющих на него факторов строится диаграмма Исикавы [1] для блоков и элементов объекта, попавших в область риска (рис. 10).

Анализируя причинно-следственную диаграмму (рис. 10), можно сделать вывод, что

наибольший риск возникновения потенциальных отказов – колесо ведущее, колесо ведомое. Этот факт подтверждается значением коэффициента приоритетного риска – 886. По сравнению с остальными рисками потенциальных отказов блоков и элементов объекта: рельс – 726, редуктор – 418, тормоз – 293,

зубчатая полумуфта – 235, шкив – 228, зубчатая полумуфта – 220, электродвигатель – 214, втулка зубчатая – 192, вал – 168. Воз-

можные причины отказов блоков и элементов объекта из области риска и значимость последствий приведены в табл. 8.

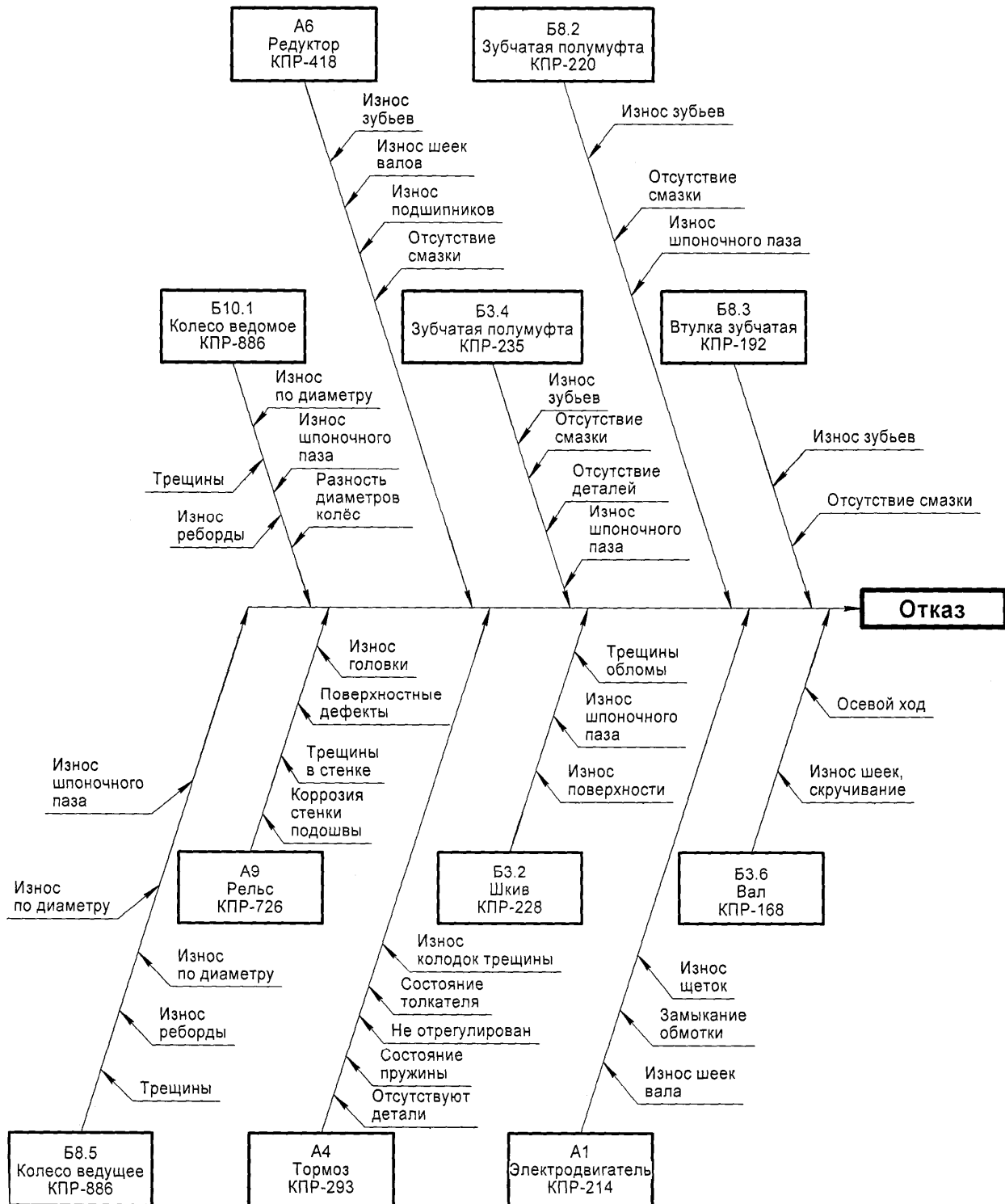


Рис. 10. Диаграмма Исикавы для элементов механизма передвижения грузовой тележки мостового крана, оказавшихся в зоне риска

Таблица 8

| Элемент конструкции | Возможные отказы | Значимость последствия |
|---------------------|-----------------------------|------------------------|
| Колесо ведущее | - трещины | Очень важная |
| | - износ по диаметру | Умеренная |
| | - износ реборды | Умеренная |
| | - разность диаметров колес | Умеренная |
| | - износ шпоночного паза | Умеренная |
| Колесо ведомое | - трещины | Очень важная |
| | - износ по диаметру | Умеренная |
| | - износ реборды | Умеренная |
| | - разность диаметров колес | Умеренная |
| | - износ шпоночного паза | Умеренная |
| Рельс | - износ головки | Умеренная |
| | - поверхностные дефекты | Умеренная |
| | - трещины в стенке | Очень важная |
| | - коррозия стенки и подошвы | Очень важная |
| Редуктор | - отсутствие смазки | Слабая |
| | - износ зубьев | Умеренная |
| | - износ шеек валов | Умеренная |
| | - износ подшипников | Умеренная |
| Тормоз | - не отрегулирован | Незначительная |
| | - состояние пружины | Слабая |
| | - отсутствуют детали | Незначительная |
| | - состояние толкателя | Слабая |
| | - износ колодок, трещины | Слабая |
| Зубчатая полумуфта | - износ шпоночного паза | Умеренная |
| | - износ зубьев | Умеренная |
| | - отсутствие смазки | Слабая |
| | - отсутствие деталей | Незначительная |
| Шкив | - износ поверхности | Умеренная |
| | - износ шпоночного паза | Умеренная |
| | - трещины, обломы | Умеренная |
| Зубчатая полумуфта | - износ зубьев | Умеренная |
| | - отсутствие смазки | Слабая |
| | - износ шпоночного паза | Умеренная |
| Электродвигатель | - замыкание обмотки | Умеренная |
| | - износ щеток | Слабая |
| | - износ шеек вала | Умеренная |
| Втулка зубчатая | - износ зубьев | Умеренная |
| | - отсутствие смазки | Умеренная |
| Вал | - осевой ход | Слабая |
| | - износ шеек, скручивание | Умеренная |

Выводы.

1. Лимитирующими элементами в конструкции механизма подъема крюкового электрического мостового крана являются: колесо ведущее, колесо ведомое, рельс, редуктор, тормоз, зубчатая полумуфта, шкив, зубчатая полумуфта, электродвигатель, втулка зубча-

тая, вал. Из них по значимости последствия (очень важными) являются: колесо ведущее, колесо ведомое и рельс.

2. Несоблюдение паспортных режимов работы и условий эксплуатации, невыполнение требований нормативной документации по диагностике возможных причин отказов

специальными процедурами контроля, применение неэффективных методов неразрушающего контроля и средств измерения может привести к увеличению числа лимитирующих элементов и увеличению риска возникновения потенциальных отказов.

3. Для уменьшения риска возникновения потенциальных отказов необходимо:

1) соблюдать паспортный режим работы подъемных сооружений и условия эксплуатации;

2) проводить диагностику возможных причин отказов специальными процедурами контроля;

3) применять эффективные методы неразрушающего контроля и средства измерения.

4. Представленный в данной работе FMEA-анализ позволяет выполнить оценку критичности и тяжести последствий элементов конструкции в процессе эксплуатации технического устройства в условиях получения необходимой информации о величине слагаемых риска – вероятности возникновения отказов вследствие проявления тех или иных характерных дефектов металлоконструкции, механизмов движения, систем энергообеспечения и безопасности в зависимости от диагностики возможных причин отказов специальными процедурами контроля, продолжительности использования элементов конструкции, методов и средств измерения.

5. Достоверность оценки технического риска может быть достигнута на основании анализа конструкции, режима работы, эксплуатационной документации, организации работы по техническому обслуживанию и ремонту на основе экспертных оценок технического состояния обследованных машин и промышленной безопасности на подъемных сооружениях опасных производственных объектов.

Список литературы

1. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA: справ. рук. / «Крайслер корпорэйшн», «Форд мотор компани», «Дженерал моторс корпорэйшн». – Н. Новгород: НИЦ КД; Приоритет, 1997. – 67 с.

2. Исикава К. Японские методы управления качеством. – М.: Экономика, 1988. – 216 с.

3. Александров, М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: Изд-во

МГТУ им. Н.Э.Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.

4. Каневский И.Н. Неразрушающие методы контроля / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: ДВГТУ, 2007. – 243 с.

5. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

6. Постановление Правительства РФ от 10.03.1999 №263 «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасном производственном объекте».

7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения».

8. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности»

9. РД 10-112-1-04 «Рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Общие положения».

10. РД 10-112-5-97 «Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 5. Краны мостовые и козловые».

11. РД 03-606-03 «Инструкция по визуальному и измерительному контролю».

12. РД 03-348-00 «Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. Основные положения».

13. РД 13-05-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения магнитопорошкового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах».

14. РД 13-06-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения капиллярного контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах».

15. РД 13-04-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения теплового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах».

16. РД 13-03-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения вихретокового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах».

17. РД РОСЭК-001-96 «Машины грузоподъемные. Конструкции металлические. Контроль ультразвуковой. Основные положения».

18. РД РОСЭК-006-97 «Машины грузоподъемные. Конструкции металлические. Толщинометрия ультразвуковая. Основные положения».

19. РД 10-197-98 «Инструкция по оценке технического состояния болтовых и заклепочных соединений грузоподъемных кранов».

20. ИСО 4301/1-86 «Краны грузоподъемные классификация».

21. ГОСТ 25835-83 «Краны грузоподъемные. Классификация механизмов по режимам работы».

22. ГОСТ Р 51901.12-2007 «Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов».

23. Гилев, А.В. Металлургические подъемно-транспортные машины / А.В. Гилев, А.А. Анушенков, А.Ю. Стовманенко, А.О. Шигин. – Красноярск: СФУ, 2008. - 252 с.

24. Ритенман, И.Л. Вероятность возникновения отказов при эксплуатации механизма подъема мостового крюкового электрического крана / И.Л. Ритенман, В.И. Ритенман, Л.И. Блейшмидт // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. - №3. – С. 303-332. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-303-332

Сведения об авторах

Ритенман Илья Леонидович – эксперт в области промышленной безопасности, технический директор ООО «Промбезопасность», ritenman@mail.ru.

Ритенман Владислав Ильич – инженер-метролог АО «МЕТАКЛЭЙ», vlad.ritenman@mail.ru.

Блейшмидт Леонид Израйлович – кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора ООО «Промбезопасность», lblshdt@rambler.ru.

THE LIKELIHOOD OF FAILURES IN THE OPERATION OF THE MECHANISM OF MOVEMENT OF A CARGO TRUCK ELECTRICAL HOOK BRIDGE CRANE

Ritenman I.L.¹, Ritenman V.I.², Bleyshmidt L.I.¹

¹ - ООО «Prombezopasnost» (Bryansk, Russian Federation)

² - JSC "METACLAY" (Karachev, Russian Federation)

Given the application of the methods of analysis of types and consequences of failures (FMEA analysis) to assess the technical risk of occurrence of emergency situations during the operation of the lifting mechanism electrical hook bridge crane. The technique allows to identify the limiting elements and to determine the significance of effects in the design of the lifting mechanism, to develop measures to reduce the risk of the occurrence of an emergency.

Key words: industrial safety, risk assessment, FMEA analysis, criticality, risk priority coefficient, Pareto chart, Ishikawa diagram, the probability of failure detection probability of failure.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-04-426-446

References

1. Analysis of the types and consequences of potential failures. FMEA / "Chrysler Corporation, Ford motor company, General motors

Corporation". N. Novgorod, KD, Priority, 1997. 67 p. (In Russian)

2. Ishikawa K. Japanese quality management methods. Moscow, Economics, 1988. 216 p. (In Russian)

3. Alexandrov M.P. Lifting machines. Moscow, MGTU imeni N.E. Bauman, Vysshaya shkola, 2000. 552 p. (In Russian)

4. Kanevsky I.N., Salnikova E.N. Non-destructive methods of control. Vladivostok, DVG TU, 2007. 243 p. (In Russian)

5. Federal law of 21.07.1997 № 116-FZ "On industrial safety of hazardous production facilities". (In Russian)

6. The decree of the RF Government dated 10.03.1999 N 263 "On the organization and implementation of production control over observance of industrial safety requirements at hazardous production facilities". (In Russian)

7. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety rules for hazardous production facilities which are used elevating constructions". (In Russian)

8. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Rules of carrying out of examination of industrial safety". (In Russian)

9. RD 10-112-1-04 "Guidelines for expert inspection of lifting machines. General provisions". (In Russian)

10. RD 10-112-5-97 "Guidelines for examination of lifting equipment with expired service life. Part 5. Cranes, overhead travelling and gantry". (In Russian)

11. RD 03-03-606 "Instruction on visual and measuring inspection". (In Russian)

12. RD 03-348-00 "Methodical guidelines for magnetic inspection of steel ropes. The main provisions". (In Russian)

13. RD 13-05-2006 "Methodological recommendations on the procedure for magnetic particle inspection of technical devices and structures applied and operated on hazardous production facilities". (In Russian)

14. RD 13-06-2006 "guidelines on procedures for conducting liquid penetrant inspection of technical devices and structures applied and operated on hazardous production facilities". (In Russian)

15. RD 13-04-2006 "Methodological recommendations on the procedure for thermal inspection of technical devices and structures ap-

plied and operated on hazardous production facilities". (In Russian)

16. RD 13-03-2006 "Methodological recommendations on the procedure for conducting eddy current testing of technical devices and structures applied and operated on hazardous production facilities". (In Russian)

17. RD ROSEK-001-96 "Machine lifting. Metal construction. The control of ultrasound. General provisions". (In Russian)

18. RD ROSEK-006-97 "Machine lifting. Metal construction. Ultrasonic thickness measurement. General provisions". (In Russian)

19. RD 10-197-98 "Guidelines for evaluation of technical condition of bolted and riveted joints of cranes". (In Russian)

20. SO 4301/1-86 "Cranes classification". (In Russian)

21. GOST 25835-83 "Cranes. Classification of mechanisms modes". (In Russian)

22. GOST R 51901.12-2007 "Management of risk. The method of analysis of types and consequences of failures". (In Russian)

23. Gilev A.V., Anushenkov, A., Stovbunenko A., Shigin A. O. Metallurgical lifting-transport machines. Krasnoyarsk, SFU, 2008. 252 p. (In Russian)

24. Ritenman I.L., Ritenman V.I., Bleyshmidt L.I. The likelihood of failures in the operation of the lifting mechanism electrical hook bridge crane. *Nauchno-tehnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.3, pp. 303-332. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-303-332 (In Russian)

Authors' information

Ilya L. Ritenman – an expert in the field of industrial safety, the technical Director at "Prombezopasnost", ritenman@mail.ru.

Vladislav I. Ritenman – engineer-metrologist at JSC "METACLAY", vlad.ritenman@mail.ru.

Leonid I. Bleyshmidt - Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice director at Limited Society "Prombezopasnost", lblshdt@rambler.ru.

Дата принятия к публикации
(Date of acceptance for publication)
04.12.2017

Дата публикации
(Date of publication):
25.12.2017

